doi:10.13866/j.azr.2018.05.21

扎龙盐沼湿地旱化特征及其对演替的影响①

罗金明， 王永洁， 柏 林， 刘复刚
（齐齐哈尔大学理学院，黑龙江 齐齐哈尔 161006）

摘 要：结合降水量、湿地蓄水量以及水面面积数据，研究扎龙盐沼湿地近年来的旱化特征及其对湿地演替的影响。结果表明：近年来，扎龙湿地呈现出持续干旱的状态是多种要素综合作用的结果。1970 年以前，研究区的旱涝情况主要受自然环境的影响（降水量的年际变化、厄尔尼诺事件以及太阳黑子周期性变化等）；1970 年以后，湿地的旱涝程度是自然环境与人为活动共同作用的。1860—1970 年，扎龙湿地旱涝变化以 3 ~ 6 a 和 20 ~ 30 a 周期为主。近半个世纪以来，扎龙湿地表现出干旱缺水的状态，其原因主要与人类活动限制了乌裕尔河上游径流进入湿地有关。扎龙湿地持续干旱缺水，导致大面积沼泽消失并形成盐渍化土壤，研究区盐渍土面积已经由 1979 年的 170 km^2 增加到 2017 年的 245 km^2，并且有相当一部分土壤盐渍化过程发生在湿地核心区。

关键词：盐沼湿地；旱涝等级；径流量；小波分析；马尔可夫链预测；扎龙；松嫩平原

松嫩平原位于中国东北地区西部脆弱的农牧交错带。近年来，不合理的开发利用导致这个区域大面积湿地退化，变成盐渍（化）土壤。目前，松嫩平原西部的盐渍土面积已达 2.57×10^6 hm^2，占整个区域的 23%，并且还在以每年 2% 的速度增加[1]。以黑龙江省中西部地区为例，20 世纪 90 年代，盐渍土面积为 2.43×10^4 hm^2，到 2015 年增加到 2.78×10^4 hm^2。该区域土壤盐渍化的发展与气候和地形的特征密切相关[2]。在温带半湿润－半干旱区的气候背景下，本地区地势低平低洼、地下水位埋藏较浅，这种气候和地势特征必然导致在地势低洼部位发育大面积的盐渍（化）土壤[3]。

自然条件下，一个区域的旱－涝特征是周期更替变化的[4-5]。气候长期干旱将促进土壤中可溶性盐分表聚，利于土壤盐渍化的发生和发展；洪涝积水环境则会对土壤表层聚集的可溶性盐分产生淋溶作用，减轻土壤表层的盐渍化程度。旱－涝周期性变化使得本地区土壤积盐（盐渍化）和淋溶（去盐）处于相对平衡的状态，整个区域生态环境也处于相对稳定状态[1]。当前的研究多基于区域降水量的变化特征来研究其旱－涝周期变化特征[4-6]。然而，松嫩平原西部河流中上游在近 60 a 来修建了大量的水利工程，半干旱、半湿润地区大坝建设往往使下游地区难以得到上游来水充分的补给[7]。例如，20 世纪 80 年代乌裕尔河上游每年进入扎龙湿地的水流量为 7.5×10^8 m^3，21 世纪以来则减少至不足 1×10^8 m^3。来水量的减少导致扎龙湿地 130 km^2 原生芦苇沼泽湿地退化消失[8]，盐渍化土壤的面积增加至 1 420 km^2[9-10]。可见，本地区盐渍化的发展与人类活动密切相关。当前，松嫩平原西部自然状态下的旱－涝周期变化模式已经被人类活动所改变，仅仅依靠降水量的研究可能难以真实反映本地区湿地的干旱状况。

本研究以松嫩平原西部扎龙盐沼湿地为例，基于本地区 1860 年以来的降水资料、1971 年以来湿地径流和明水面数据，探讨研究区 156 a（1860—2015 年）以来的旱涝事件发生规律，分析扎龙盐沼湿地退化的原因。研究结果有助于理解湿地退化的机理，可为湿地的保护提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

扎龙湿地（124°00′ ~ 124°30′E，46°55′ ~ 47°35′N）位于松嫩平原西部乌裕尔河流域下游。乌裕尔河发源于小兴安岭，自东北向西南流向，进入松嫩平原地区后因地势低洼，在黑龙江省齐齐哈尔市

① **收稿日期：**2018－01－29； **修订日期：**2018－03－15
基金项目：国家自然基金项目（41771250）；国家重点研发计划项目（2016YFC0501201）和黑龙江省省属高等学校基本科研业务费科研项目（135209248，135109231）资助
作者简介：罗金明（1977－），男，博士，教授，从事盐沼湿地演替与水盐运移研究．E-mail：luojm1000@163.com

东部发育了大面积原生芦苇沼泽（即扎龙湿地）。扎龙湿地属于温带半湿润－半干旱季风气候区，多年平均年降水量410 mm（70%的降雨集中在7月和8月）[11]。浅层地下水和地表水中阴离子以HCO_3^-为主，可溶性阳离子以Na^+和Ca^{2+}为主，属于HCO_3-Na型弱矿化度地下水类型[11]。大面积的原生芦苇沼泽成为包括丹顶鹤在内的多种珍稀水禽的栖息地。近年来，受气候变化以及不合理开发利用的影响，导致扎龙湿地大面积退化，变成盐碱地[8]。

1.2 旱涝程度界定

当前，对一个地区所处的旱涝程度界定基本都是根据统计学原理对降水量统计得到的。其方法首先假定本地区降水量服从正态分布，然后对降水量时间序列进行正态化处理，再按照降水量的分布情况进行旱涝程度分级[4-6]。本研究区每年10月至次年4月为低温冻融期，这期间的降水量为年降水量的15%以下，因此，本地区的旱涝情况主要取决于其5—9月的降水量。本文参照中国中央气象科学研究院所著《中国近500年旱涝分布图集》对于旱涝等级的界定方法[12]，取研究区1860—2015年每年5—9月的降水量数据（R_i）进行统计分析，得到多年平均降水量（R_M）和标准差（$б$），对于研究区旱涝等级（Z指数）划分如下：

－2级：$R_i > (R_M + aб)$，大涝；

－1级：$(R_M + bб) < R_i \leqslant (R_M + cб)$，偏涝；

0级：$(R_M - bб) < R_i \leqslant (R_M + bб)$，正常；

1级：$(R_M - aб) < R_i \leqslant (R_M - bб)$，偏旱；

2级：$(R_M - cб) < R_i \leqslant (R_M - bб)$，严重干旱（大旱）；

a、b和c为统计参数，分别取11.7、0.33和1.17。

一个地区旱涝极端事件的发生往往是多种要素综合作用的结果，既包括自然的作用，也包括人为活动的影响。20世纪70年代以后，人们对扎龙湿地的开发利用强度不断增强，直接改变了湿地的水环境特征。因此，这一时间段研究区旱涝情况应同时考虑其降水量的变化，也应该考虑实际进入湿地的水量和蓄水面积。本研究参照文献[13]的研究结论，把每年4—5月湿地平均明水面面积与理想水面面积A（750 km^2）进行比较：

明水面＞120% A，大涝；120% A＞明水面＞105% A，偏涝；100% A ＞明水面＞80% A，正常；80% A＞明水面＞50% A，偏旱；明水面＜50% A，大旱。

1971—2015年的旱涝等级数据来自于齐齐哈尔市气象局。湿地蓄水量依据扎龙湿地入水口（农安桥以及来自双阳河）流入的径流量和滨州线（湿地出水口）的水流量之差得到，数据来自齐齐哈尔市水文监测局。

1.3 小波转换的原理

很多气象要素（如降水量以及旱涝极端事件）都表现出一定周期性。当前，常采用小波变换来揭示时间数据序列所包涵的周期性[4]。Morlet小波在揭示时间序列时分解成时间形态和频率形态序列，可以同时表征数据的时间序列和周期特征，因此，常被用来分析水文和气象数据的周期变化规律。

Morlet小波的数学表达式为：

$$\Psi(t) = e^{i\omega_0 t} e^{(-t^2/2)}$$

式中：$\Psi(t)$表示小波函数；i表示虚数部；ω_0为无量纲频率，当ω_0取0.6的时候周期和时域的分辨率最佳；t为时间。

本文利用Morlet小波探讨研究区1860—2015年降水量的周期性变化特征。

1.4 马尔可夫链预测

马尔可夫（Markov）预测法是根据事物现有状态，对今后一定时期内可能出现的状态进行预测的方法。其中状态转移概率矩阵P和初始状态E_0共同决定着下一个时刻事物最可能出现的状态：

$$P(E_i \to _E j) = P(E_i / E_j) = P_{ij}$$

P_{ij}满足条件：$0 \leqslant P_{ij} \leqslant 1$ $(i, j = 1, 2, \cdots, n)$；

$$\sum P_{ij} = 1$$

本文根据1971—2015年以来，扎龙湿地的旱涝等级数据计算得到其状态转移概率矩阵（表1），并以2017年旱涝等级状态（0,0,0,1,0）为初始状态（E_0），预测接下来13 a（2018—2030年）研究区可能出现的旱涝状况。

表1 研究区旱涝事件状态转移概率矩阵

Tab.1 The transfer of probability matrix of drought or flooding events

旱涝等级	1	2	3	4	5
1	0	0.40	0	0.05	0
2	0.67	0.60	0.40	0.11	0
3	0.0	0.40	0	0.11	0.17
4	0.33	0.60	0.60	0.58	0.33
5	0	0	0	0.16	0.50

2 结果与讨论

2.1 降水量和明水面面积的变化

由图1可见,近45 a(1971—2015年)以来扎龙湿地的降水量在300~600 mm之间波动,没有显著性的增减。在20世纪70年代中期、80中期至90中期、21世纪初以及2010年以后,扎龙湿地的降水量为低谷期,而在20世纪70年代末至80年代中期、1998年前后、2005年前后以及2010年前后的降水量都在多年平均降水量(410 mm)以上,属于降水较充沛时段。

近45 a,研究区的蓄水量以及明水面面积呈现出与降水量截然不同的变化特征(图2)。从图2a可见,自20世纪80年代中后期开始,几乎所有年份扎龙湿地的蓄水量都低于理想蓄水量(5.6×10^8 m^3)[13],21世纪以来更是迅速减少至2×10^8 m^3以下。即使加上人工生态补水部分,湿地每年蓄水量也远远低于理想蓄水量。同样,湿地明水面面积也呈现出震荡式减少的特征(图2b)。20世纪80年代以前,根据湿地明水面面积划分大部分年份都属于正常或者偏湿状态;在此之后,绝大部分年份湿地的明水面面积都小于600 km^2(1998年和2006年嫩江特大洪水年除外),即湿地都处于偏旱的状态。

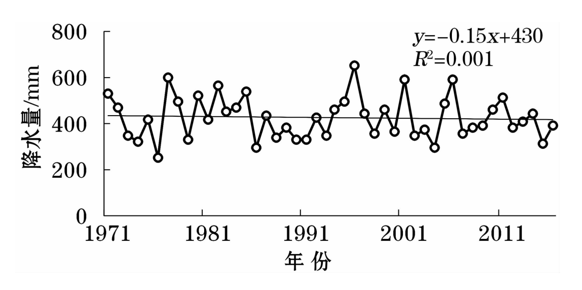


图1 1971—2015年研究区的降水量变化

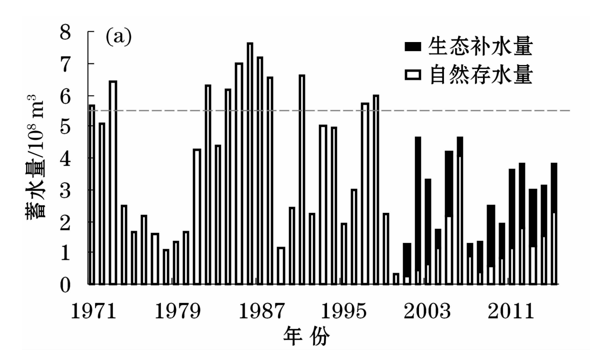
Fig.1 Change of precipitin in the study area during the period of 1971 -2015

事实上,自21世纪以来,扎龙湿地明水面面积减少了46%,湖泊和水库的面积减少了16%[7,14]。可见,除了特大降水年份(例如1998年)外,其余年份降水量的丰盈与湿地所处的旱涝状态并不完全一致。因此,仅仅使用降水量的多少定义湿地的旱涝状态可能与实际情况不相符。

2.2 湿地旱涝的周期性特征

通过对研究区多年旱涝情况进行统计发现(表2),20世纪70年代以前气候干旱年占26.13%(极端干旱事件7次,仅占6.31%),正常年占35.14%,偏湿年占40.52%(极端湿涝事件13次,占11.70%)。1971—2015年,根据降水量划分的旱涝等级结果与1860—1970年表现出相似的特征。然而,根据湿地明水面面积划分的结果则表明20世纪70年代以后研究区长期处于干旱缺水状态(1998年例外),大部分年份处于干旱状态(占70%),湿涝年所占比例不到20%。上述二种方法对近45 a以来湿地干旱程度的划分结果存在显著差异。

事实上,一个地区的旱涝程度受多种因素的影响,既包括自然的作用也包括人为的影响。据历史记载,20世纪70年代以前,整个乌裕尔河流域几乎都处于原生状态,这期间扎龙湿地的旱涝特征主要受流域降水量的影响。20世纪70年代以后,乌裕尔河流域上游修建大量水库,导致扎龙湿地的来水量大大减少,从而导致湿地缺水越来越严重,致使扎龙湿地在正常降水年份仍然表现出干旱缺水状态。只有当降水量丰沛(甚至流域发生较大等级的洪涝事件)时,上游的水才能顺流而下进入湿地,使湿地明水面面积增加,此时通过降水量划分的旱涝等级和明水面面积划分的旱涝等级一致。如果流域降水量偏少,导致区域处于干旱状态,也会导致湿地明水面面积减少。其余年份应该以湿地实际蓄水量和明



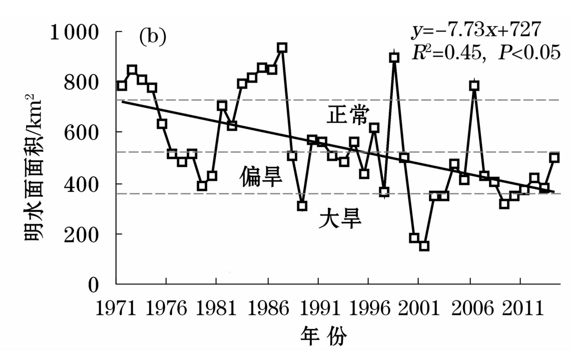


图2 1971—2015年扎龙湿地的蓄水量以及明水面面积变化

Fig.2 Change of water storage and area ofwaters in the Zhalong Wetland during the period of1971—2015

表 2 近 156 a(1860—2015 年)以来研究区旱涝发生情况

Tab. 2 The statistic results of drought or flooding events in the study area in recent 156 years (1860—2015)

旱涝程度	等级	1860 – 1970 年		1971 – 2015 年	
		发生次数	比例/%	发生次数	比例/%
大涝	1	13	11.70	5(3)	10.87(6.51)
偏涝	2	32	28.82	16(5)	34.78(13.04)
正常	3	39	35.14	14(9)	30.43(19.57)
偏旱	4	22	19.82	11(20)	19.57(43.48)
大旱	5	7	6.31	2(6)	4.34(17.39)

注:括号数据为 1971—2017 年根据明水面面积划分的湿地旱涝比例。

水面面积作为划分指标更贴近实际情况。

根据上述分析,本文把 1971 年以后湿地明水面面积作为湿地旱涝等级划分的主要依据,同时参考极端降水条件和湿地蓄水量,得到 1971 年以后扎龙湿地旱涝等级变化特征。1860—1970 年旱涝等级则主要依据流域降水量划分的旱涝等级,综合起来得到扎龙湿地自 1860 年以来旱涝变化(图 3)。图 3 中一个显著的特征就是 1971 年以后湿地几乎都处于偏干旱的状态。

基于小波分析,本文对研究区 1860 年以来的旱涝周期变化进行检测(图 4)。结果表明,1860—2015 年扎龙湿地旱涝分布具有多种尺度的周期特征。旱涝频域尺度可以分为 2 个时段:1860—1970 年,旱涝存在 3 ~ 6 a 的周期、20 ~ 30 a 周期尺度,而且旱涝时期相互交替明显;1970 年以后旱涝周期时间尺度明显增加,主要以 5 ~ 6 a、10 ~ 20 a 和 30 ~ 50 a 尺度周期为主的旱涝更替变化特征。湿地偏湿的时段出现在 1875、1900、1915、1930—1940、1970 年和 1998 年。20 世纪 70—90 年代以及 2000 年以来研究区表现出干旱缺水,尤其是 21 世纪以来的 15 a,湿地处于持续干旱状态。

已有研究表明,扎龙湿地降水表现出 3 a 和 6 a 短周期变化规律[15],这种短周期与本文检测到3 ~ 6 a 旱涝更替周期相符。这种旱涝交替的周期可能与厄尔尼诺现象相关[16]。本文检测到 10 ~ 20 a 左右的旱涝周期则可能与太阳活动的周期相关(如太阳黑子 11 a 的活动周期)[4]。另外,研究区在 21 世纪以来表现出 30 ~ 50 a 的旱涝周期,这种长期的干旱很大程度上是自然环境的变化与人为活动叠加的结果。

图 5 是马尔可夫链预测研究区未来 13 a (2018—2030 年)的旱涝状况。可见,扎龙盐沼区在未来数年内将长期表现为偏旱的特征(个别年可能

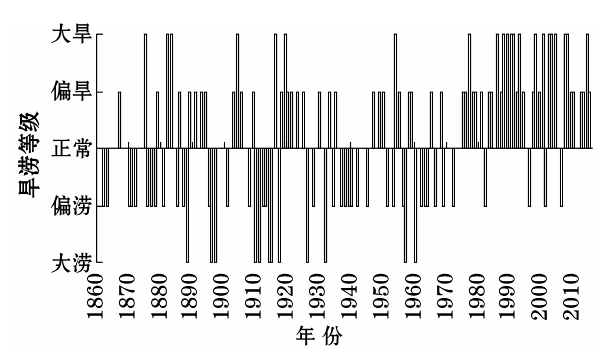


图 3 近 156 a(1860—2015 年)研究区的旱涝情况

Fig. 3 The situation of drought or flooding events in the study area in recent 156 years (1860—2015)

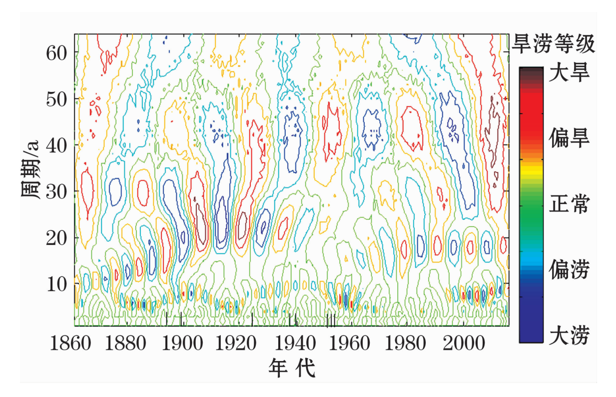


图 4 基于小波分析的近 156 a(1860—2015 年)干湿情况周期变化

Fig. 4 Periodical change of drought or flooding events in recent 156 a (1860—2015) based on wavelet analysis

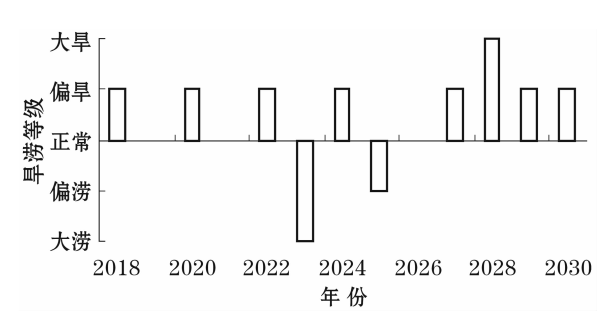


图 5 未来 13 a(2018—2030 年)研究区旱涝状况

Fig. 5 The situation of drought or flooding events in the study area in the future (2018—2030)

出现偏涝年),甚至发生大旱的极端事件。即在未来一段时期内扎龙湿地仍然表现出干旱缺水的特征。Qiu[17]预测 21 世纪的 20 a 内我国东北地区还将有大面积天然盐沼湿地变成“旱”地,本文预测的结果与之相符。

2.3 持续干旱对湿地演替的影响

水是湿地生态系统形成及其功能维持极其重要的要素。近几十年来,受气候变化和高强度人类活动的影响,整个东北地区盐沼湿地都表现出干旱缺

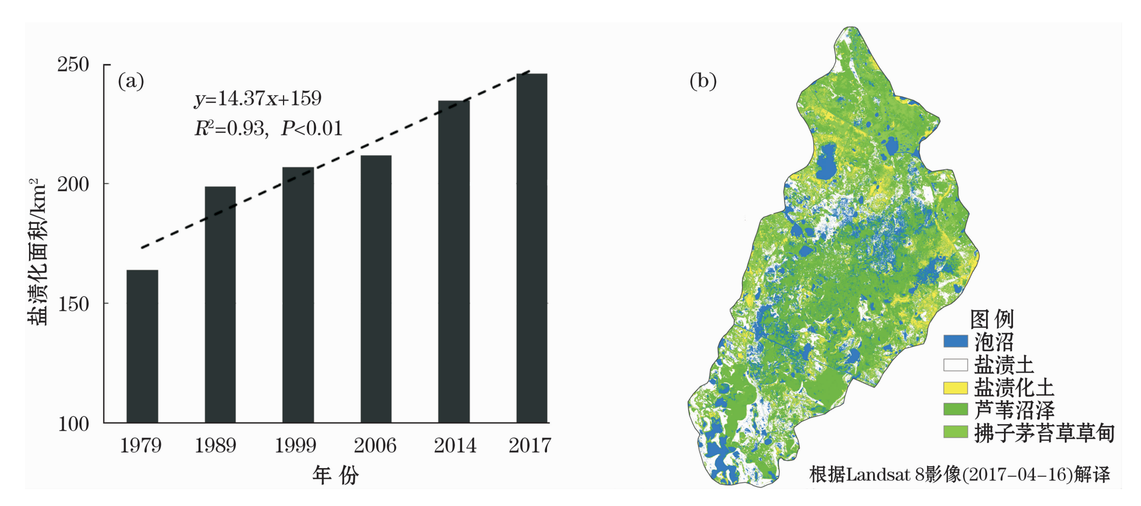


图 6　近 40 a 扎龙湿地盐渍化面积的变化(a)以及 2017 年的分布格局(b)

Fig. 6　Change of the area of salinized soil in recent 40 a (a) and its distribution pattern in 2017 (b) in the Zhalong Wetland

水的状态[18]。作为松嫩平原西部的盐沼湿地,扎龙湿地也受到干旱的胁迫而表现出持续退化的特征。

湿地具有一定调节流域水文平衡的功能,即在洪泛期湿地可以大量蓄水,在枯水期又释放出水分。这种特性使得扎龙湿地历史上虽经历了大旱和大涝的影响,但它还是完好地保存了下来。然而,近年来在气候变旱的大背景下,叠加了人为活动强烈的干扰,扎龙湿地的水环境呈现出不可逆转的退化特征。盐沼湿地旱化演替的结果之一就是带来本地区大面积次生盐渍化的发生[9, 14, 19]。1979 年,扎龙湿地盐渍土面积为 170 km^2,21 世纪以来增加到 200 km^2 以上,2017 年则达到 245 km^2(图 6a),而且盐渍化向湿地的核心区发展(图 6b)。

扎龙沼泽湿地的稳定对区域生态安全具有十分重要的意义。湿地持续退化不仅影响着各种珍稀水禽的种群规模,也将威胁着整个区域生态的安全。因此,应该增强湿地的保护力度,以减缓湿地退化的步伐。

3　结 论

扎龙湿地的旱涝状态是多种要素综合作用的结果。1970 年以前,研究区的旱涝情况主要受降水量年际变化、厄尔尼诺事件以及太阳黑子密度周期性变化等自然环境的影响。1970 年以后,扎龙湿地的旱涝状态主要受人为活动的影响。近年来,扎龙湿地处于持续干旱缺水状态。结合降水量、湿地蓄水量以及明水面积分析湿地旱涝状况,较好地反映湿地实际状况。

扎龙湿地近 150 a 来旱涝变化周期具有多种尺度。1860—1970 年,旱涝周期存在 3 ~ 6 a、20 ~ 30 a 尺度变化;1970 年以后,旱涝周期时间尺度明显增加,主要以 5 ~ 6 a、10 ~ 20 a 和 30 ~ 50 a 尺度周期为主。20 世纪 70—90 年代以及 2000 年以来整体表现出干旱的特征。长期的干旱在很大程度上是自然环境的变化与人为活动叠加的结果。

湿地长期干旱缺水导致大面积沼泽退化,形成盐渍化土壤。1979 年扎龙湿地盐渍土面积为 150 km^2,到 2014 年盐渍土面积增加到 250 km^2 以上,而且相当部分盐渍土分布在湿地的核心区。持续干旱将影响扎龙湿地正常的生态功能以及演替特征。

参考文献(References):

〔1〕 Yang Fan, An Huafeng, Ma Hongyuan, et al. Variations on soil salinity and sodicity and its driving factors analysis under microtopography in different hydrological conditions〔J〕. Water, 2016, 8(9): 1 - 13.

〔2〕 Wang Li, Seki Katsutoshi, Miyazaki T, et al. The causes of soil alkalinization in the Songnen Plain of Northeast China〔J〕. Paddy and Water Environment, 2009, 7(3): 259 - 270.

〔3〕 吕宪国. 中国湿地与湿地研究〔M〕. 石家庄:河北科学技术出版社, 2008.〔Lv Xianguo. Wetland System Study in China〔M〕. Shijiazhuang: Hebei Science and Technology Press, 2008〕

〔4〕 王涛, 霍彦峰, 罗艳. 近 300 a 来天山中西部降水与太阳活动的小波分析〔J〕. 干旱区研究, 2016, 33(4): 708 - 716.〔Wang Tao, Huo Yanfeng, Luo Yan. Precipitation and sunspots in the central West Tianshan Mountains in recent 300 years〔J〕. Arid Zone Research, 2016, 33(4): 708 - 716.〕

〔5〕 窦睿音, 延军平. 关中平原太阳黑子活动周期与旱涝灾害的相关性分析〔J〕. 干旱区资源与环境, 2013, 27(8): 76 - 82.〔Dou Ruiyin, Yan Junpin. Relationships between drought and flood disasters in Guanzhong plain and the activities of sunspot〔J〕. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2013, 27(8): 76 - 82.〕

〔6〕 徐梦雅, 毕硕本, 武玮婷, 等. 清代华中地区干旱灾害时间特征

及成因分析〔J〕. 干旱区研究,2017,31(10):105 – 110.〔Xu Mengya,Bi Shuoben,Wu Weiting,et al. Analysis of temporal characteristics and causes of drought disaster in central China during Qing dynasty〔J〕. Arid Zone Research,2017,31(10):105 – 110.〕

〔7〕 毛海涛,樊哲超,何华祥,等. 干旱、半干旱区平原水库对坝后盐渍化的影响〔J〕. 干旱区研究,2016,33(1):179 – 184.〔Mao Haitao,Fan Zhechao,He Huaxiang,et al. Changing process and the impact factors of wetland ecosystem in Zhalong Wetland〔J〕. Arid Zone Research,2016,33(1):74 – 79.〕

〔8〕 张玉红,张树清,苏立英,等. 基于3S的扎龙湿地土地盐碱化趋势分析〔J〕. 农业系统科学与综合研究,2010,26(2):140 – 144.〔Zhang Yuhong,Zhang Shuqing,Su Liying,et al. Analysis of basification trend at Zhalong Wetland based on 3S〔J〕. System Sciences and Comprehensive Steppes in Agricuture,2010,26(2):140 – 144.〕

〔9〕 Bai Lin,Wang Cuizhen,Zang Shuying,et al. Remote sensing of soil alkalinity and salinity in the Wuyu'er-Shuangyang River basin,Northeast China〔J〕. Remote Sensing,2016,8(9):1 – 16.

〔10〕 Sui F Y,Zang S Y,Fan Y W,et al. Effects of different saline-alkaline conditions on the characteristics of phytoplankton communities in the lakes of Songnen Plain,China〔J〕. Plos One,2016,11(10):e0164734,1 – 18.

〔11〕 Wang Yongjie,Luo Jinming,Ye Yajie,et al. Edaphic characterization,water and salt translocation in saline marsh at local scale in Songnen Plain,Northeast China〔J〕. Advanced Materials Research,2012,383:3 744 – 3 750.

〔12〕 中央气象科学研究院. 中国近500年旱涝分布图集〔M〕. 北京:地图出版社,1981.〔Chinese Academy of Meterolorological Science. Distribution Atlas of Drought and Flood in Approximately 500 Years in China〔M〕. Beijing:China Cartographic Publishing House,1981.〕

〔13〕 周林飞,许士国,李青山,等. 扎龙湿地生态环境需水量安全阈值的研究〔J〕. 水利学报,2007,38(7):845 – 851.〔Zhou Linfei,Xu Shiguo,Li Qinshan,et al. Safety threshold of eco-environmental water requirement in wetland〔J〕. Journal of Hydraulic Engineering,2007,38(7):845 – 851.〕

〔14〕 张玉红,苏立英,于万辉,等. 扎龙湿地景观动态变化特征〔J〕. 地理学报,2015,70(1):131 – 142.〔Zhang Yuhong,Su Liying,Yu Wanghui,et al. Characteristics of landscape dynamic changes in Zhalong wetland〔J〕. Acta Geographica Sinica,2015,70(1):131 – 142.〕

〔15〕 柏林,臧淑英,张丽娟,等. 扎龙湿地降水变化非线性特征研究〔J〕. 地理与地理信息科学,2014,30(3):105 – 107.〔Bai Lin,Zang Shuying,Zhang Lijuan,et al. Study on non-linear characteristics of precipitation variation in Zhalong Wetland〔J〕. Geography and Geo-information Science,2014,30(3):105 – 107.〕

〔16〕 穆穆,任宏利. 2014—2016年超强厄尔尼诺事件研究及其预测给予我们的启示〔J〕. 中国科学:地球科学,2017,47:993 – 995.〔Mu Mu,Ren Hongli. Enlightments from researches and predications of 2014 – 2016 super EI Niño events〔J〕. Scientia Sinica Terrae,2017,47:993 – 995.〕

〔17〕 Qiu Jian. China faces up to 'terrible' state of its ecosystems〔J〕. Nature,2011,471:19 – 20

〔18〕 刘昌明. 东北地区水与生态环境问题保护对策〔M〕. 北京:科学出版社,2007.〔Liu Changming. Protect Strategy of Water and Ecological Environment in Northeast China〔M〕. Beijing:Scientific Press of China,2007.〕

〔19〕 沃晓棠,孙彦坤,田松岩. 扎龙湿地景观格局与气候变化〔J〕. 东北林业大学学报,2014,42(3):55 – 59.〔Wo Xiaotang,Sun Yankun,Tian Songyan. Landscape and climate change in Zhalong Wetland〔J〕. Journal of Northeast Forestry University,2014,42(3):55 – 59.〕

Effect of Drought Stress on Succession of the Zhalong Wetland

LUO Jin-ming, WANG Yong-jie, BAI Lin, LIU Fu-gang

(*College of Science*, *Qiqihar University*, *Qiqihar* 161006, *Heilongjiang*, *China*)

Abstract: In this study, the effect of drought stress on the succession of the Zhalong Wetland in northeast China in recent years was analyzed based on the data of precipitation, water storage and water area n the study area. The results indicated that the persistent drought was jointly affected by various factors. The rought or looding in the wetland was influenced by the natural factors before 1970, such as the fluctuation of runoff volume, EI Nino event and change of solar spots, nevertheless, it was jointly governed by both the natural environment change and human activities after then. During the period from 1860 to 1970, there were the 3 – 6 a and 20 – 30 a main periods of drought or flooding fluctuation. However, drought was dominant in recent 50 years due to the increase of human activities. The persistent drought stress resulted in the disappearance of wetland and soil salinization in large area, that is, the area of salinized soil was enlarged from 150 km^2 in 1979 to 250 km^2 in 2015, and some of which occurred in the core area of the Zhalong Wetland.

Key words: saline wetland; drought or flooding level; runoff volume; wavelet analysis; Markov prediction; Zhalong; Songnen Plain